

# 갈바노 스캐너와 DMD(Digital Micro-mirror Device)를 이용한 두부 고정형 다초점 디스플레이 시스템

정희원 김 동 욱\*\*, 권 용 무\*, 김 성 규\*

## Head Fixed Type Multi-Focus Display System Using Galvano-Scanner and DMD(Digital Micro-Mirror Device)

Dong-Wook Kim\*\*, Yong-Moo Kwon\*, Sung-Kyu Kim\* *Regular Members*

### 요 약

DMD(Digital Micro-mirror Device)와 갈바노 스캐너를 이용한 두부 고정형 다초점 디스플레이 시스템은 초점 조절이 가능하여 스테레오스코픽 디스플레이에서 발생하는 양안의 수렴작용과 단안의 초점조절 작용의 불일치에 의한 눈의 피로 문제를 해결할 수 있는 디스플레이 시스템이다. 이 시스템은 레이저 스캐닝 방법으로 각 시점에 대한 영상의 수렴점을 형성하여 관찰자 동공에 제공함으로써 초점조절이 가능토록 한다. 본 논문에서는 이 다초점 디스플레이 시스템의 레이저 스캐닝 방법을 수학적으로 분석하였고, 이러한 분석에 기반 한 다초점 시스템을 제작하여 비디오카메라를 통하여 초점조절이 가능함을 보였고, 결과적으로 레이저 스캐닝 방법에 의한 다초점 시스템의 시점 형성원리가 검증되었다.

**Key Words** : 3D Display system, Multi-Focus Display, Accommodation, Laser Scanning, Eye Fatigue

### ABSTRACT

Head fixed type multi-focus display system using Galvano-scanner and DMD(Digital Micro-mirror Device), which is able to perfectly accommodate, can solve eye fatigue due to conflict between convergence eye movement and accommodation action in stereoscopic display. This system is able to accommodate through making convergence point about each view point and offering it in front of observer's pupil by using laser scanning method. In this paper, we analyzed laser scanning method of this multi-focus display system. And multi-focus display system based on this analysis was made, which showed that focus adjustment was possible through video camera. As a result, formation principle of view point of multi-focus system by laser scanning method was verified.

### 1. 서 론

스테레오스코픽 디스플레이는 가장 대중화된 입체 디스플레이 방식이다. 이 방식은 기존의 2D 영상에 비하여 깊이를 포함한 3차원 정보를 제공하는 장점이 있다. 그러나 스테레오스코픽 디스플레이는 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 그 중 하나가

시청 시 발생하는 눈의 피로현상이다. 눈의 피로현상의 원인은 다양하다<sup>1),2)</sup>. 스테레오스코픽 디스플레이에서 대부분의 눈의 피로 현상 원인은 좌우 영상의 제공과 관련되어 있고, 이것은 해결 가능한 문제이다. 하지만 그 중에서 사람의 두 눈에 의한 수렴작용과 각각의 눈의 초점 조절 작용 사이의 불일치는 스테레오스코픽 디스플레이 시스템에 대한 근

\* 한국과학기술연구원 영상미디어연구센터(21ap@kist.re.kr, ymk@kist.re.kr, kkk@kist.re.kr), \*\* 고려대학교 물리학과  
 논문번호 : KICS2009-07-315, 접수일자 : 2009년 7월 30일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 2일

본적인 문제이다<sup>[11-14]</sup>. 이러한 문제를 해결하기 위하여 초점조절이 가능한 디스플레이 장치들이 개발되었다<sup>[5-7]</sup>. 그러나 이 디스플레이 시스템들은 완벽한 초점조절 기능을 제공하지 못하였다<sup>[8]</sup>. 이에 반하여 스캐너와 영상제공소자를 이용한 두부 고정형 다초점 시스템<sup>[9,10]</sup>은 관찰자의 단안에 최소 2장의 시차 영상 제공만으로도 깊이공간의 제약 없이 초점조절 정보를 제공할 수 있는 디스플레이 시스템이다. 이 시스템은 레이저 스캐닝 방식의 시스템이다. 레이저 광원과 영상제공소자를 통하여 관찰자에게 순차적으로 시차영상을 제공하고 이렇게 제공된 영상들은 스캐너의 회전을 통하여 각기 다른 위치에 각 영상의 수렴점을 형성하게 된다. 이렇게 수렴된 시차영상을 통하여 관찰자가 능동적으로 초점조절이 가능하게 된다. 그러므로 이 디스플레이 시스템을 제작하기 위하여 레이저 스캐닝 부분에 대한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 갈바노 스캐너와 DMD를 이용한 다초점 디스플레이 시스템의 레이저 스캐닝 방법을 기하적 광선추적을 통하여 수학적으로 분석하였고 이러한 분석에 기반 한 다초점 시스템을 제작하였다. 이 제작된 시스템에서 관찰자를 대신한 비디오 카메라를 통하여 초점조절이 가능함을 확인하였고 이 결과를 통하여 레이저 스캐닝 방법에 의한 다초점 시스템의 시점 형성원리를 확인하였다.

### II. 수렴점 형성을 통한 다초점 시스템의 초점조절 원리

눈의 동공 크기는 개인차가 있지만 대략 2~8mm 이내이고 주위의 밝기에 의하여 크기는 조절된다. 그림 1은 단안에서의 초점조절의 원리를 보여준다. 그림 1.(a)는 실제적인 초점조절의 원리를 보여주고 있다. 사람은 주시하고자 하는 깊이에 눈의 초점을 맞추면 수정체의 두께 조절에 의하여 초점조절이 가능하다. 만약 사람이 점광원 1에 초점을 맞추면 점광원 1은 망막에 정확히 상을 맺히게 되지만 다른 깊이에 있는 점광원 2는 초점이 정확히 맞춰지지 않아 흐려지게 된다. 이것은 각각의 점광원에서 발산되는 많은 광선들이 수정체의 렌즈 작용에 의하여 망막에 정확히 상을 맺거나 그렇지 못하기 때문이다. 그림 1.(a)는 각각의 점광원에서 출발한 3개의 광선을 표현하고 있다. 만약, 이 광선들이 도달하는 동공 앞 3곳의 위치에 해당하는 점광원 1과 점광원 2에 대한 단안시차 영상이 수렴점을 형성하

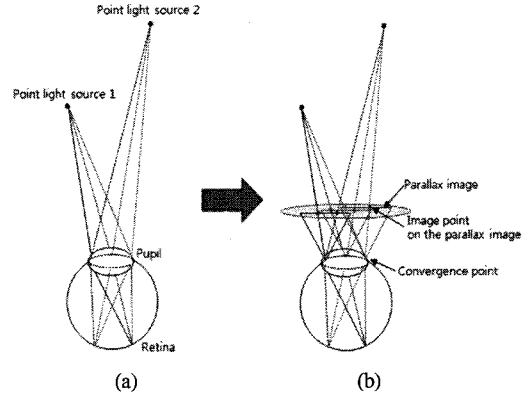


그림 1. 초점조절 작용의 원리  
(a) 실제적인 초점조절 원리 (b) 다초점 시스템에서의 초점조절 원리

여 제공된다면 관찰자는 단안에서 수정체의 두께 조절로 각각의 점광원에 대한 초점조절이 가능하게 될 것이다.

그림 1.(b)는 관찰자의 단안에 그림 1.(a)의 점광원을 표현하는 시차영상을 제공했을 경우에 초점조절 효과를 보여준다. 여기서, 각 시차영상은 각 점광원을 표현하는 영상점을 포함하고 있다. 그림 1.(b)에서 3개의 시차영상들은 동공에서 각각의 위치에 수렴하게 되고, 점광원 1 또는 점광원 2를 주시함에 따라서 수정체의 두께 조절로 망막에 맺히는 각각의 시차영상의 점침이 달라지게된다. 이 때, 점광원 1과 2의 시차는 다르므로 관찰자가 하나의 점광원에 정확히 초점을 맞추면 다른 점광원은 정확히 상이 맺혀지지 않아 상이 흐려지게 된다. 이것은 실제 물체에 대한 초점조절 현상과 같다. 그림 1.(b)에서는 3개의 시차영상만을 표시했지만 더 많은 시차영상이 동공 안에 입사한다면 실제 영상과 비슷한 자연스러운 흐려짐 현상을 볼 수 있게 된다. 반대로 최소 2개의 시차영상만으로 초점조절이 가능하다.

### III. 레이저 스캐닝 시스템의 수학적 분석

그림 2는 레이저 스캐닝 방식을 이용한 두부 고정형 다초점 시스템의 구성을 보여주고 있다. 그 중 그림 2.(a)는 전체 시스템의 구성을 보여주고 있다. 이 시스템은 광원으로 레이저를 사용하고 있으며 영상제공소자를 통하여 순차적으로 제공받은 시차영상을 스캐너의 회전을 통하여 동공 앞의 각기 다른 위치에 수렴시켜 그림 1.(b)의 초점조절 조건을 만족시키는 것이 목적이다. 다시 말해, 그림 1.(b)와 같이 동공 앞에 형성된 수렴점을 통하여 관찰자는

능동적으로 초점조절을 할 수 있다. 그러므로 이 다초점 시스템에서 각기 다른 위치에 수렴점을 형성시키기 위한 스캐닝 부분은 이 시스템 구성의 핵심 부분이다. 결과적으로 이 스캐닝 방식을 이용한 다초점 시스템의 핵심은 그림 2.(a)의 스캐너 면에서의 반사로 인하여 점 A와 관련된 가상의 발산점 A'이 스캐너의 회전에 따라 공간상의 다른 위치에 존재하는 것처럼 보이는 것이다. 이 점들은 렌즈를 통하여 수렴되며 각각의 시차영상 수렴점들을 형성시킨다. 하지만 이 과정에서 스캐너의 회전에 의하여 광경로가 변화되므로 시스템 제작 시 이에 대한 분석이 필요하다. 그러므로 실제 시스템 제작에 앞서 스캐너의 회전에 따른 수렴점 형성 위치와 관련된 광경로 변화를 기하학적 광선추적을 사용하여 분석하였다. 그림 2.(b)는 그림 2.(a)의 다초점 시스템에서 스캐닝 부분(점선 안의 공간)의 구성 및 스캐너 회전에 의한 광경로 변화를 보여주고 있다.

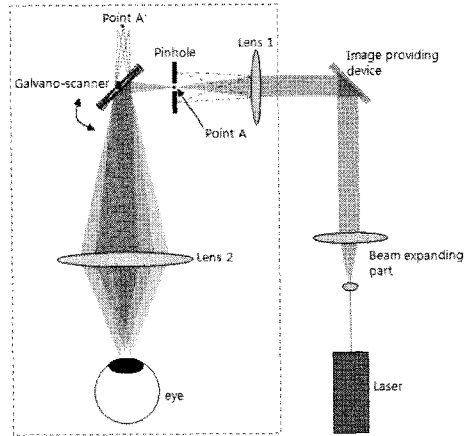
그림 2.(b)에서  $(x_o, z_o)$ 는 영상 원점,  $(x_i, z_i)$ 는 영상점이다. 그리고 OD는 영상원점부터 렌즈 2, SD는 영상원점부터 스캐너, LD는 스캐너부터 렌즈 2, ID는 렌즈 2부터 영상점까지의 z방향 거리이다. 이 때, 계산의 편의를 위하여 z방향과 관련된 모든 거리 값은 양수로 하였다. IW는 렌즈 위에서의 한 개의 시차영상 폭이고,  $x_{L2}$ 는 렌즈 2 위에서 시차영상의 중심위치이다. 그림 2.(b)에서 렌즈 1은 영상제공소자에서 시차영상을 포함하여 반사된 회절광 중 편홀을 이용하여 0차광만을 선택하는 역할을 한다. 이렇게 선택된 0차광은 그림 2.(b)에서 영상원점이 된다. 각각의 영상원점은 각각의 시차영상의 발산점이 된다. 그림 2.(b)의 (x, z)면에서 스캐너의 회전에 의한 변화되는 영상 원점 $(x_o, z_o)$ 의 위치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x_o &= SD\sin\theta \\ z_o &= LD + SD\cos\theta \end{aligned} \quad (1)$$

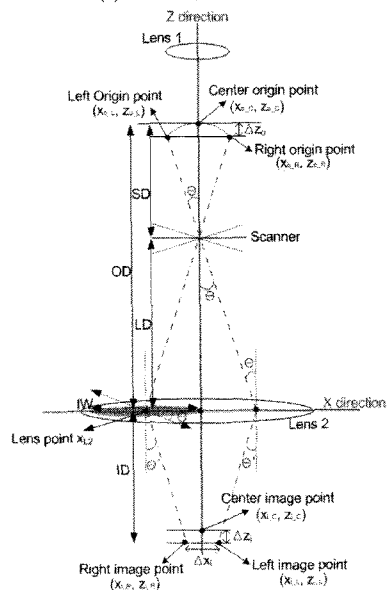
여기서,  $\theta$ 는 스캐너의 한 방향의 회전각 즉, 전체 회전각의 절반을 의미이다. 이 때,  $\theta$ 는 스캐너의 회전방향에 따라 중심을 기준으로 오른쪽은 양의 값, 왼쪽은 음의 값으로 구분한다.

결과적으로 스캐너의 회전에 의해 방향이 변화된 빔은 원래 발산점(그림 2.(a)의 점 A)이 아닌 다른 위치에서 직진하는 것처럼 표현된다.

식 (1)의 각 영상 원점에서 출발한 빔의 광경로를 추적하기 위하여 근축광 추적 방정식(Paraxial



(a) 전체 시스템의 구성



(b) 스캐닝 부분의 구성 및 스캐너의 회전에 의한 광경로 변화

그림 2. 레이저 스캐닝 방식을 이용한 두부 고정형 다초점 시스템의 구성

Ray Trace Equations)을 사용하였다<sup>11)</sup>. 스캐너의 회전에 의해 생성된 가상의 각 발산점에서 출발한 빔이 렌즈 2에 도달하는 위치는 다음과 같다.

$$x_{L2} = x_o + z_o \tan(-\theta) \quad (2)$$

식 (2)를 통하여 시스템 설계 시 사용되어야 할 렌즈의 크기를 가늠할 수 있다.

렌즈 2를 통과한 빔의 굴절각은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta' = \tan^{-1}[\tan(-\theta) - x_{L2}\phi_{L2}] \quad (3)$$

여기서,  $\phi$ 는 optical power로서 초점거리의 역수 (1/f)를 의미한다. 그러므로  $\phi_{L2}$ 는 렌즈 2의 초점거리의 역수를 의미한다.

렌즈 2를 통과하여 굴절된 빔은 각각 수렴점을 형성하게 된다. 이 수렴점이 그림 2.(b)의 영상점 ( $x_i, z_i$ )이다. 우선, z 축 방향의 위치  $z_i$ 는 간단한 렌즈 방정식을 통하여 얻을 수 있다.

$$z_i = \frac{z_o}{\phi_{L2}z_o - 1} \quad (4)$$

그리고 x 축 방향의 위치  $x_i$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_i = x_{L2} + z_i \tan \theta' \quad (5)$$

식 (1)~(5)의 과정을 통하여 렌즈 1에 의해 형성된 시차영상의 영상 원점부터 관찰자의 동공 앞에 제공되는 시차영상의 수렴점 즉, 영상점까지의 광경로를 추적할 수 있다. 그러므로 이 분석을 통하여 스캐닝 방식의 다초점 디스플레이 시스템에서 스캐너의 회전에 대한 광경로 변화를 예측할 수 있고 올바른 시스템 구성 및 동작을 위한 광경로 조절의 결과도 예측 가능하다.

우리는 위의 분석을 통하여 시스템 설계 시 몇 가지 고려하여야 할 사항이 발생함을 알 수 있다. 그것은 스캐너의 회전으로 발생하는 영상원점과 영상점의 위치 변화량  $\Delta z_o, \Delta z_i, \Delta x_i$ 이다. 이 값들은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \Delta z_o &= z_{oC} - z_{oL,OR} \\ \Delta z_i &= z_{iC} - z_{iL,IR} \\ \Delta x_i &= x_{iL} - x_{iR} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, 첨자 C는 스캐너의 회전이 없을 경우를 나타내고, 첨자 L, R은 스캐너의 좌우방향 최대 회전 값을 나타낸다.

우선,  $\Delta z_o$ 는 각 시차영상의 가상 발산점의 위치가 달라짐을 의미한다. 이 값은 영상점의 깊이방향의 변화량  $\Delta z_i$ 와 관련이 있다.  $\Delta z_i$ 는 형성된 수렴점들의 깊이방향의 위치가 다름을 의미하므로 관찰자에게 정확한 시차영상 제공을 방해하는 오차요소이다. 식 (1), (4)를 통하여 스캐너의 회전이 커질수록  $\Delta z_o, \Delta z_i$ 의 값이 커짐을 알 수 있다. 이에 더하여 스캐너의 회전과 관련하여 추가적으로 그림 2.(b)에서 스캐너의 회전이 커질수록 렌즈 2에 입사하는 시차영상의 크기(IW) 변화가 커짐을 볼 수 있다.

이것 또한 각 시차영상의 크기를 변화시켜 오차의 원인으로 작용한다. 둘째로,  $\Delta x_i$ 는 관찰자 동공 앞에 수렴되는 시차영상들의 최대 폭을 의미한다. 두 부 고정형 다초점 시스템에서 이 값이 관찰자의 동공 크기(약 2~8mm)보다 크다면 관찰자는 제공된 시차영상 중 일부를 보지 못하게 된다. 식 (1), (5)를 통하여 스캐너의 회전이 커질수록 이 값 또한 커짐을 알 수 있다.

결과적으로 스캐닝 방식의 두부 고정형 다초점 시스템에서 관찰자의 능동적 초점조절을 가능케 하는 동공 앞의 수렴점들은 스캐너의 회전에 의해서 형성되지만 만약 스캐너의 회전이 커진다면 오차요소도 커짐으로 인하여 관찰자의 초점조절 작용을 방해할 수 있으므로 시스템 설계 시 이 위치 변화량 값들이 초점조절 결과에 영향을 주지 않도록 고려하여 설계하여야 한다.

#### IV. 실험 및 결과

##### 4.1 실험 장치

관찰자에게 정확한 초점조절 결과를 제공하기 위하여 앞선 기하적 광선추적을 통한 분석을 고려하여 두부 고정형 다초점 디스플레이 시스템을 설계, 제작하였다<sup>10)</sup>. 스캐너를 이용한 다초점 디스플레이 시스템은 미리 제작된 갈바노 스캐너 구동 회로와 영상제공소자로서 1024 \* 768픽셀의 해상도를 가진 DMD를 이용해 시차영상들을 시간적 흐름에 따라 공간상의 다른 위치에 수렴시킨다. 이 때, DMD는 빠른 동작속도로 많은 시차영상을 제공할 수 있는 장점이 있다.

실험 장치의 구성은 그림 2.(a)와 동일한 구성으로 제작되었다. 먼저, 광원으로는 532nm 파장의 레이저를 사용하였다. 이 빔은 여러 소자를 거쳐 확대되어 영상제공소자인 DMD에 입사한다. 이 때, DMD는 960Hz로 작동하며 32개의 시차영상을 순차적으로 표현한다. DMD에서 반사된 빔은 DMD에서 제공한 시차영상을 포함하게 된다. 여기서, DMD가 960Hz로 동작하게 한 이유는 관찰자가 동영상을 자연스럽게 느낄 수 있게 하기 위해서 26개의 시차영상을 사용했기 때문이다. 이렇게 DMD에서 반사된 빔은 렌즈를 통과하여 집광되게 하고 핀홀을 설치하여 선택된 반사광(0차 회절광)만을 걸러낸다. 그리고 선택된 반사광은 갈바노 스캐너로 입사하게 된다. 이 빔은 스캐너의 회전에 따라 공간상에서 스캐너가 이동한 방향으로 진행하게 된다. 이

때, DMD의 출력 신호와 스캐너의 입력 신호는 동기화 시켰다. 그림 3은 갈바노 스캐너와 DMD의 동기화 신호를 보여주고 있다.

스캐너는 한번의 진동주기에 32개의 영상이 실릴 수 있도록 설계하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 스캐너는 saw-tooth파 형태의 신호에 의해 작동된다. 여기서, DMD의 출력신호는 제작된 회로를 통하여 saw-tooth파의 형태로 변형된다. 실험 시에는 32개의 영상 중 26개의 시차영상을 사용하였고 나머지 6개의 영상은 빈 영상을 두었는데, 이것은 스캐너 회전기의 원위치 시간을 안정적으로 확보하기 위한 조치였다. 사용된 시차영상 중 8개를 그림 4에 보였다. 그림 4의 시차영상은 공간상의 가상의 물체와 동공 앞의 각각의 수렴점에서의 화각과의 관계에 의하여 제작되었다. 제작된 시차영상의 물체는 막대 모양으로 표현하였다. 각 막대의 길이는 가장 큰 물체부터 각각 30mm, 100mm, 300mm, 1100mm 그리고 2000mm이다.

스캐너에서 반사된 빔은 수렴렌즈의 각기 다른 위치에 입사한 후, 눈의 동공 주변의 각기 다른 위치에 수렴하게 된다. 실제 실험 결과는 눈 대신 비디오카메라를 통하여 관찰하였다. 이 때, 관찰자는 임의적으로 비디오카메라의 초점거리를 조절해가며 카메라에 포착된 영상의 변화를 관찰하게 된다.

그림 2.(a)의 구성과 같이 설계된 시스템에서 렌즈 1의 초점거리는 100mm이고 렌즈 2의 초점거리는 110mm이다. 그리고 스캐닝 부분인 점선 안의 공간에서의 각 소자간의 거리는 다음과 같이 설계하였다. 이미지의 발생위치라 볼 수 있는 렌즈 1와 스캐너사이의 초점 위치 점 A에서부터 렌즈2까지의 거리는 약 400mm이다. 각 광소자간의 거리를 세부적으로 표시하면 점 A에서 스캐너까지의 거리는

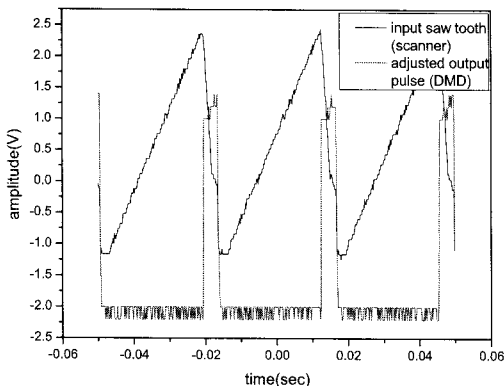


그림 3. 갈바노 스캐너와 DMD의 동기 신호

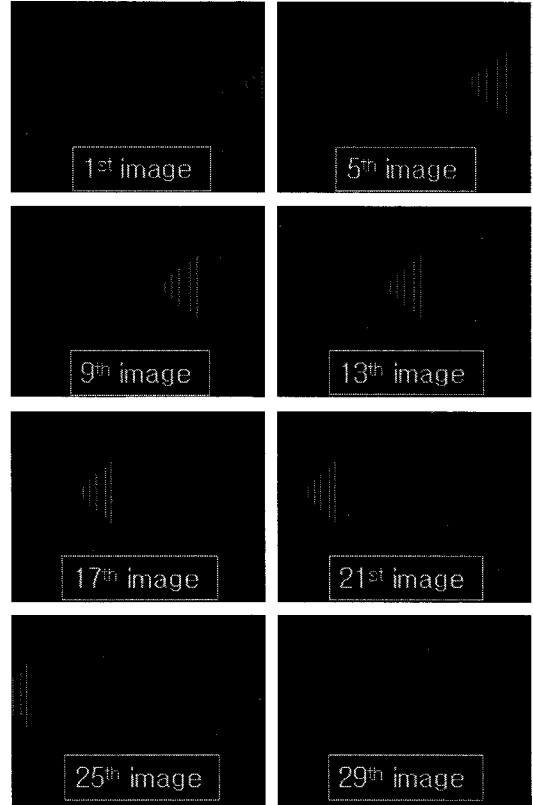


그림 4. DMD에 제공된 시차영상

45mm이고, 스캐너에서 렌즈 2까지의 거리는 355mm이다. 그리고 스캐너의 회전각은 약 4.8도이고 시스템의 중심축을 기준으로 좌우방향으로 회전한다. 이 값들은 앞서 기하적 광선추적에 의하여 분석된 스캐너의 영향을 고려하여 결정되었다.

#### 4.2 실험 결과

그림 4의 시차영상을 통하여 초점조절 실험결과를 얻었다. 그림 5는 관찰자를 대신하여 비디오카메라로 초점거리를 변화시켜가며 촬영된 영상으로 초점조절 결과를 보여준다. 그림 5의 (a)번 영상은 30mm, (b)번 영상은 100mm, (c)번 영상은 300mm, (d)번 영상은 1100mm, (e)번 영상은 2000mm의 물체에 카메라의 초점을 맞춘 영상들이다. 그림 5의 실험결과에서 카메라의 초점 깊이에 있는 물체는 선명하고 나머지 물체는 흐려진 것을 볼 수 있다. 다시 말해, 우리는 카메라의 초점거리 변화에 따라 각각 다른 깊이에 위치한 물체에 초점이 맞음을 확인할 수 있었다. 이것은 카메라 렌즈의 위치 변화가 초점거리를 변화시킨 것이고, 눈으로 생각한다면 눈에서 수정체의 두께가 변화에 따라 수정체 자체의 초점거

리가 변한 것을 의미한다. 결과적으로 레이저 스캐닝 방법을 사용한 단안용 다초점 디스플레이 시스템에서 동공 앞에 형성된 수렴점들을 통해 관찰자가 능동적으로 초점조절이 가능함을 확인하였고, 이 결과를 통하여 레이저 스캐닝 방법에 의한 다초점 시스템의 시점 형성 원리를 확인할 수 있었다.

이 시스템을 양안에 적용할 경우, 깊이 공간의 제약 없이 각각의 단안에서 초점조절이 가능하므로 스테레오스코픽 디스플레이에서 양안의 수렴과 단안의 초점조절 작용 사이의 불일치에 의하여 발생하는 눈의 피로를 제거 또는 완화할 수 있음이 확인되었다.

추가적으로, 그림 5의 모든 경우에서 초점이 맞추어진 물체로부터 깊이가 멀어질수록 물체의 퍼짐 현상이 단계적으로 늘어남을 볼 수 있다. 이것은 현실세계에서 자연스럽게 발생하는 현상이다. 이런 단계적 비초점화 현상은 각 시차영상에서 물체의 깊이에 따른 시차량이 다르기 때문이고, 자연스러운 비초점화 현상은 관찰자에게 26개의 시차영상 정보를 제공함으로써 가능한 일이다.

위의 실험 조건에서 스캐너의 회전 때문에 실제 관찰자에게 제공되는 영상에 문제가 발생하는지를 확인하였다. 표 1은 실제 시스템 제작 조건에서 스캐너의 회전에 따른 각 위치 변화량의 최대 변화 값을 식 (6)을 통하여 나타낸 것이다.

표 1. 실제 시스템 조건에서 계산된 각 변화량의 최대 변화 값

Parameter	Value(mm)	Error(%)
$\Delta z_o$	0.040	0.01% ( $\Delta z_o/OD$ )
$\Delta z_i$	0.006	0.004% ( $\Delta z_i/ID$ )
$\Delta x_i$	1.430	

표 1에서 볼 때,  $\Delta z_o$ ,  $\Delta z_i$ 는 최대 변화 값과 오차 모두 전체 시스템에서 매우 작은 값으로 실제 제작된 다초점 시스템은 스캐너의 회전에 의한 문제가 발생하지 않음을 확인할 수 있다. 그리고  $\Delta x_i$ 의 최대 변화 값은 사람의 동공 크기보다 작으므로 관찰자는 손실 없는 시차영상을 보게 됨을 알 수 있다.

### V. 결 론

스테레오스코픽 디스플레이에서 관찰자 양안의 수렴과 단안의 초점조절 작용이 일치하지 않음으로 발생하는 눈의 피로현상을 해결하기 위하여 단안에서 깊이공간의 제약 없이 초점조절이 가능한 두부 고정형 다초점 디스플레이 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 갈바노 스캐너와 영상제공소자인 DMD를 이용한 레이저 스캐닝 시스템이다. 이 시스템은 레이저 스캐닝 방법을 이용하여 관찰자 동공 앞의 각기 다른 위치에 시점의 수렴점을 형성, 관찰자의 단안에 수렴점을 통해 시차영상을 제공함으로써 초점조절의 효과를 얻는다. 하지만 이 시스템은 스캐너의 회전에 대한 광경로 변화가 발생하므로 시스템 설계 시 이에 대한 분석이 필요하다. 그러므로 우리는 시스템에 적용된 레이저 스캐닝 부분에 대한 수학적 분석을 통하여 스캐너의 회전에 대한 광경로 변화 및 광경로 조절의 결과가 예측 가능함을 보였다. 추가적으로 올바른 시차영상을 제공하기 위하여 시스템 제작 시 고려할 사항에 대하여도 확인하였다. 그리고 이에 따라서 두부 고정형 다초점 시스템을 제작하였다. 이 시스템에서 스캐너의 회전에 대한 문제없이, 제공된 시차영상을 통하여 관찰자가 능동적으로 단안에서 초점조절을 할 수 있음을 확인하였다. 이 결과를 통하여 레이저 스캐닝 방법에 의한 다초점 시스템의 시점 형성 원리를 확인할 수 있었다. 결과적으로 이 두부 고정형의 다초점 시스템의 양안적용을 통하여 입체영상 관찰 시 눈의 피로를 완화시킬 수 있는 가능성이 확인되었다.

본 논문에서의 다초점 시스템은 깊이공간의 제약 없이 초점조절이 가능한 시스템이지만 수평시차만을 제공하는 시스템이다. 실험결과를 통하여 레이저 스캐

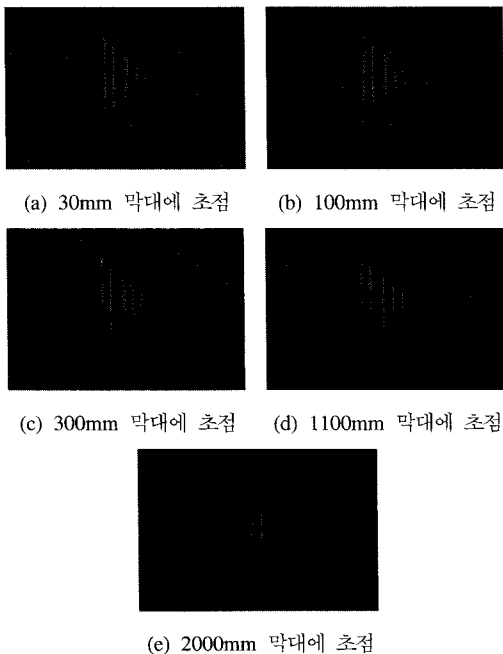


그림 5. 초점조절 작용의 결과

닝 방법에 대한 다초점 시점 형성 원리가 확인되었으므로 추가적으로 수직, 수평시차를 동시에 제공하는 완전시차 다초점 시스템에 대한 연구가 필요하다. 또한, 이 시스템을 소형화시켰을 경우 HMD(Head Mounted Display)에 적용이 가능하므로 소형화에 따른 연구도 필요하다.

### 참 고 문 헌

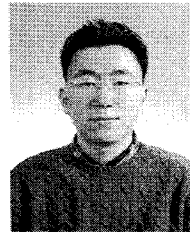
- [1] Sumio Yano, Masaki Emoto, Tetsuo Mitsuhashi, "Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images", Displays 25, pp. 141-150, Nov. 2004.
- [2] Kazuhiko Ukai, Peter A. Howarth, "Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations", Displays 29, pp. 106-116, Mar. 2008.
- [3] N. Hiruma, T. Fukuda, "Accommodation response to binocular stereoscopic TV images and their viewing conditions", SMPTE J. 102, 1137-1144, Dec. 1993.
- [4] Sumio Yano, Shinji Ide, Tetsuo Mitsuhashi, Hal Thwaites, "A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV image", Displays Vol. 23, pp. 191-201, Sep. 2002.
- [5] Y. Kajiki, H. Yoshikawa, T. Honda, "3D Display with Focused Light Array", Proc. SPIE 2652, pp. 106-116, Mar. 1996.
- [6] Hiroshi Nakanuma, Hiroyuki Kamei, Yasuhiro Takaki, "Natural 3D display with 128 directional images used for human-engineering evaluation", Proc. SPIE, 5664, pp. 28-35, Mar. 2005.
- [7] Nicholas L. Silverman, Brian T. Schowengerdt, Jhon P. Kelly, Eric J. Seibel, "Engineering a retinal scanning laser display with integrated accommodative depth cues", SID 03 Digest, pp. 1538-1541, May 2003.
- [8] Sung-Kyu Kim, Dong-Wook Kim, Yong Moo Kwon, Jung-Young Son, "Evaluation of the monocular depth cue in 3D displays", Opt. Express. 16, 21415-21422, Dec. 2008.
- [9] Sung-Kyu Kim, Yoshihiro Kajiki, Toshio Honda, "3D display system for one observer using multi-projection of 2-Dimensional image

from an arc", Proc. SPIE, 4297, pp. 141-147 Jan. 2001.

- [10] Sung-Kyu Kim, Dong-Wook Kim, Min-chul Park, Jung-Young Son, Toshio Honda, "Development of the 2<sup>nd</sup> generation of HMD type multi-focus 3D display system", Proc. SPIE, 6016, pp. 60160P, Oct. 2005.
- [11] Joseph M. Geary, "Introduction to lens design", Willmann-Bell, Inc. Chapter 4, 2002.

김 동 욱 (Dong-Wook Kim)

정회원



2003년 2월 경원대학교 물리학과 학사

2005년 2월 고려대학교 물리학과 석사

2005년 3월~현재 고려대학교 물리학과 박사과정/한국과학기술연구원 학생연구원

<관심분야> 3D 디스플레이, 다초점 디스플레이, 스테레오 영상왜곡

권 용 무 (Yong-Moo Kwon)

정회원



1980년 2월 한양대학교 전자공학과 학사

1983년 2월 한양대학교 전자공학과 석사

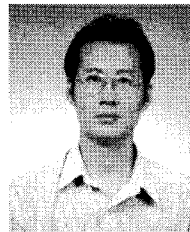
1992년 8월 한양대학교 전자공학과 박사

1983년~현재 한국과학기술연구원 책임연구원

<관심분야> 3D 콘텐츠 제작, 3D 인터랙션, 가상현실

김 성 규 (Sung-Kyu Kim)

정회원



1989년 2월 고려대학교 물리학과 학사

1991년 2월 고려대학교 물리학과 석사

2000년 2월 고려대학교 물리학과 박사

2001년~현재 한국과학기술연구원 책임연구원

<관심분야> 3D 디스플레이, 다초점 디스플레이, 디지털 홀로그래피